چگونگی صفرشدن

$C = 4nl\upsilon$

سرعت نور

عبدالله زرافشان

$$C = \frac{d}{t` - nT}$$

برای نصرالله زرافشان

پسرباهوش معمار

فهرست مطالب

صفحه

نورو سرعت نور

درگذرزمان ....

یکی ازنخستین پدیده هائی که کنجکاوی بشررا برکرۀ خـاک بـه خـود جلب کرده است ، نوروروشنائی ، البتّه ازگونۀ طبیعـی آن ، بـوده اسـت . شگفت انگیزی پرتوهای نورواثرات بی چون وچرای آن برزیسـت انسان درروزگاران نخستین آنچنان ژرف وبنیادین بوده که وی رابه پرستش آن و عامل هـای پدیدآورندۀ آن برمی انگیخته است . آفتـاب پرستی و مـاه پرستی کم وبیش درتمام اقوام انسانی درهزاران سـال پـیش وجودداشـته است . ازآن جهت که زادگاه تمدّن بشری رامیانرودان دانسته اند ، بدون تردید ، درسرزمین های این بخش ازجهان بوده که اندیشه دربـارۀ نـور و روشنائی آغازشده است . اندکی به این نکته بیندیشید که حتّـی درهـزارۀ سوم باآن همه دست آوردهای علمی ، آسـمان همچنـان شـگفت انگیـزو اسرارآمیز می نماید ، پس در روزگاران نخستین انسان براین سیّاره ، سپهر

گردون دربرابرچشمان او چگونه می نموده است؟... بهرحال رمزورازهای آسمان باعث پایه گذاری دانشِ اخترشناسی ، پیشترازبسیاری ازعلوم دیگـر گردیده است . وبی گمان بخش عمده ای ازاسرارآمیزی آسمان برآمـده ازپرتوهای نوری است که درآن جاری است . سومری ها ازجمله نخستین مردمی بودند که آسمان گردی وستاره شناسی را آغازنموده انـد . درپـی آنها مصریان ، بابلی ها ، ایرانیان ، یونانی ها وچینی ها بودندکه گام دراین قلمرو ازعلوم گذارده اند .

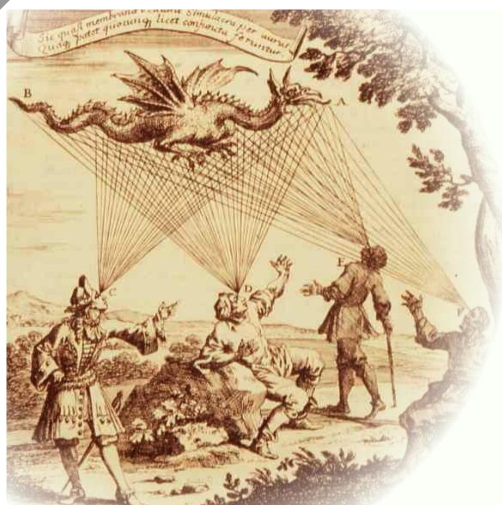


پرداختن به اخترشناسی درروزگارباستان دراین کوته مقال نمی گنجـد چه بهرحال مادرپی نوروسرعت نوروصفرشدن آن هستیم نه قلمرو گستردهٔ اخترشناسی که استادی ودانش فراوان را می طلبد . سخن ازنوروروشنائی بیشتردرکلام رهبران دینی ازآن جمله پیامبران تجلّی داشته است که در

میان آنها زرتشت برخدائی وآسمانی بودن آن بیش ازبقیه اشاره داشته است . ونیزدر کتاب آسمانی مسلمانان نیز بیش ازدیگران بر نوروروشنائی تأکید شده است . درهرصورت پس ازگذشت هزاران سال ازشناخت نور توسط انسان هرگزذرّه ای ازارزش واعتبارآن درنزدانسان ها ، کاسته نشده است .

دانشمندان یونان باستان که حدوداً شش سده پرچمداردانش درمیان کشورهای هم عصرخودبودند ، درموردنوریا به عبارتی ، دانش نور (اُپتیک) ، دیدگاه منطقی وآگاهانه ای نداشتند . بطورمثال ، طبق باور و توجیهات ارسطوئی ، حّس بینائی ناشی ازنوری است که ازچشم انسان انتشار یافته وبه جسم می تابد . بزرگترین دانشمنددوران درخشان علم در مشرق زمین ، بویژه درمیان مسلمانان ، که وی راپدرعلوم تجربی لقب داده اند ، حسن بن هیثم بصری است که ۹ اثرارزنده درزمینۀ فیزیک نور دارد که بیش از۶ سده ، پیشرفته ترین منبع ومرجع درمغرب زمین به شمار می رفته است . مهمترین دست آورداین نگاشته های بی همانند ، رّد دیدگاه ارسطوئی درخصوص بینائی انسان وارائه نظریه ایست که همچنان درسدۀ نخستین هزارۀ سوم ، موردپذیرش اهل دانش درسراسر جهان است .

ابن هیثم دراثرارزندۀ خود « المناظر » ودربخش نخستین آن به بینائی ، ازجمله ویژگی های چشم وساختمان آن ، ویژگی های پرتوهای نور ، تابش وبازتابش نور وآنچه که زمینه سازدیدن درچشم است وتوضیح وتوجیه تصویرحسّی واینکه درذهن یامغزانسان متجلّی می گردد ، مورد تحقیق وبررسی قرارداده است .





درطی بیش ازشش سده پس ازابن هیثم ، به دلیل توقف دانش وپژوهش درتمدّن بشری ، بویژه دراروپایِ روزگارِانکیزیسیون ، دگرگونی چندانی دردیدگاههای علمی درزمینهٔ دانش نور ، پدیدنیامد . آنچه که کسانی همچون راجربیکرانگلیسی درسده های دوازده وسیزده میلادی در پیوند با نوروبینائی ودیدن عنوان کرده اند ، تماماً وبی هیچ افزوده ای ، برگرفته ازبزرگان دانش در عصرطلائی مشرق زمین ومسلمانان است .

سرانجام تأثیرات حاصل ازنگاشته های بزرگانی همچون ابونصرفارابی ، ابن سینا ، رازی ، احمدفرغانی ، ابن هیثم ، خیّام ، ابوریحان بیرونی و بسیاری دیگر ، اروپای خفته درجهل وبی خبری را با برآمدن بزرگانی همچون نیکلاوس کُپرنیکِ لهستانی ، یوهان کپلِرآلمانی ولئوناردداوینچی ایتالیائی ، بیدارکرد . دیدگاههای بنیادیِ کپرنیک دراینکه زمین مرکز عالم نیست ، سدّ هزارساله دربرابر جهان دانش درمغرب زمین رافروریخت

وبه دنبال آن جنبش علمی وبزرگ رُنسانس گام های نخستین اش را برداشت وزمینه برای آشکارشدن دیدگاههای نوین درجهان دانش را فراهم ساخت . وازاین رهگذر ، دانش نورنیزبی نصیب نماند .

ازآن روکه نورورروشنائی تاسدۀ نوزدهم میلادی درقلمرودانش اخترشناسی بشمارمی رفت ، دردهه های نخستین رُنسانس کسانی همچون گالیله ، کپلروهویگنس دراین زمینه عرض اندام می کردند . گالیله در کتابش بانام « گفتارها وبرهان هادربارۀ ده دانشِ نوین » که دربردارندۀ مجادلات سه شخصیت خیالی است بانام های سالویاتی[1] ، ساگرِدو[2] ، و سیمپلیچیو[3] ، درموردچگونگی بهره گرفتن ازنورمتمرکزخورشید بااستفاده ازذرّه بین ، برای گداختن فلزات ، مطالبی آورده است . سخن ازفلزو ذوب کردن آن تدریجاً سرازنوروماهیّت وسرعت آن ، درمی آورد .



Simplicio -۳ Sagredo -۲ Salviati -۱

بااین ذهنیت که حرکت باعث بوجودآمدن گرما می شود ، مانند دمِ آهنگری یاانفجارِباروت و.... به این نتیجهٔ کاملاً درست دست یافتند که نور دارای حرکت وشایدسریع ترین حرکت است . آیا نورهم مانند هر چیزدیگربرای جابجاشدن نیازبه زمان دارد؟. . . پاسخِ این پرسش را مثبت یافتند . اینهاهمه تأئید می کندکه نوربرای رسیدن ازمنبع خود به دریافت کنندهٔ نور زمان می برد اگرچه بسیاراندک . . . سالویاتی می گوید ، اگر حضورووجودنورآنی وخودبخودنباشد پس حتماً سرعت اش باید خیلی زیاد باشد .

دراین نگاشتهٔ ارزندهٔ گالیله ، درواقع سالویاتی خودگالیله ، ساگرِدو طرح کنندهٔ پرسش ومعمّاها برای دونفردیگرو سیمپلیچیو پاسخ دهنده به آنهاست . ازاینجابه بعدبود که شبحی ازعلمی نوین به نام فیزیک نور یا همان اُپتیک درگوشه وکنارمحافل علمی خودنمائی نمود . درنخستین سالهای سدهٔ هفدهم ، اُپتیک هندسی یعنی همانی که معتقداست نوربه خط مستقیم حرکت می کند ، به پیشرفت های قابل توجهی دست یافته بود وتلسکوپ برای کاربرددردریانوردی ، جنگ ورصد ستارگان ، ساخته شده ومورد استفاده قرارمی گرفت . باشناسائی پدیدهٔ شکست نوردرسال ۱۶۲۰ ، دستگاههای نوری ازجمله دوربین وتلسکوپ باکیفیت بهتری ، ساخته شد . باگذشت زمان وتبادل اندیشه میان دانش پژوهان درآن روزگار، پرسش های دیگری نیز درخصوص ماهیّت وجنس خودنورمطرح شد . نکته جالب توجه اینکه تاسالها پس ازگالیله ، ماهیّت و ویژگی های نوررامتعلّق به قلمرو فلسفه می دانستند وبسیاری ازاهل فیزیک جرأت نمی کردند به نوربپردازند . این دیدگاه رامی توان به

روشنی درکتاب یوهان کپلر ، اخترشناس ، فیزیکدان وریاضیدان آلمانی مشاهده نمود .



یوهان کپلر

امّا رنه دکارت فرانسوی ازاین بابت که ازاهالی فلسفه نیزبود ، بی محابا به جستجووکاوش درزمینه های مربوط به نور همّت گماشت که دراین کار به موفقیت های ارزنده ای نیزدست پیداکرد . وی براین باوربود که نور اثری است که بصورت خودبخود درمادّهٔ رقیق باپُرکردن خلل وفُرج جسم انتشارمی یابد . وی دربیان وتوجیه پدیده های بازتابش وشکست نور، انتشارآن رابه حرکت توپ وبرخوردآن به راکت تشبیه نمود . ابن هیثم نخستین دانشمندی بود که شباهت میان حرکت نوروحرکت اجسام را عنوان نمود ونیزوی نخستین کسی بود که پیشنهادکرد برای سرعت باید برداردرنظرگرفت وازاینروسرعت رامی توان به مؤلفه هائی تجزیه کرد .



توپ وراکت وحرکت نور........

دیدگاههای دکارت زمینه سازکاربردهرچه بیشترریاضی درپژوهش های مربوط به نور(اُپتیک) گردید که دراین مورد پیِرفرما[1] فرانسوی نوآوری های ارزشمندی ارائه نمود بویژه درزمینه شکست نوروگذشتن آن از محیطی به محیط دیگر... وی بود که نخستین بارتغییرسرعت نوردراثر گذر ازمحیطی به محیط دیگررا عنوان کرد .



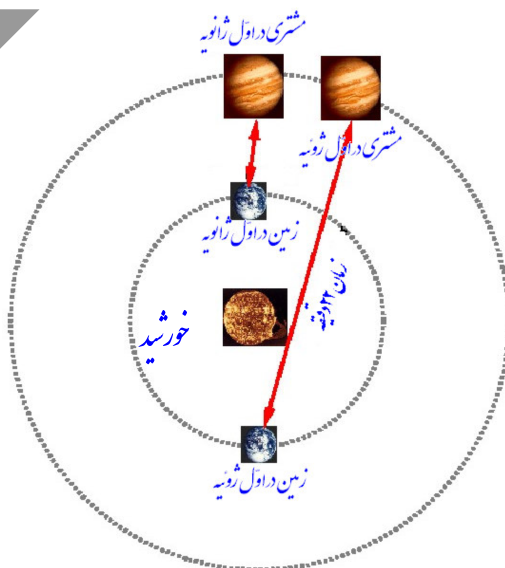
۱- Pierre de Fermat

همانگونه که اشاره رفت ، چـون نورراازوابسـتگان دانـش اخترشناسـی بشمار می آوردند ، ازاینرو بسـیاری کسـان کـه درسـده هـای هفـدهم و هجدهم دراین راه کوشیده وبه دست آوردهای گرانقدری رسیده اند از میان اخترشناسان وآسـمان گردهـا سـربرآورده انـد . ازآن جملـه اولاف رئومر[1] دانمارکی است ، نخستین کسی که اقدام به اندازه گیـری سـرعت نور نموده است . وی ازراه برآوردومحا سـبۀ زمـان گرفتگـی قمرمشـتری سعی دراندازه گیری سرعت نورنمود . گرچـه دقّـت دسـت آوردِ رئـومر بسیاراندک بود ، ولی کاراومنجربه اثبات چیزی شدکه امـروزه بـرای مـا مثل روزروشن است وآن اینکه سرعت نورحدّوانـدازه دارد ونامحـدود و آنی نیست .

روش وی اینگونـه بـود کـه دوره یـاپریود گـردش قمرمشـتری راT وشمارِدفعات پدیداروناپدید شدن آنراn وکّل زمان آنـرا t فـرض نمـوده است . البتّه رئومرفرض کرده که زمین نسبت به مشـتری ثابـت اسـت کـه زیاد هم بی ربط نیست . براین پایه ، این زمان مربوط می شود به رسـیدن نوربازتابش ازمشتری به زمین که چیزی حدود قطرمدارزمین می شود . از توضیحات بالا می توان به سـادگی معادلـۀ محاسـبۀ سـرعت نـوررادراین روش به صورت زیربدست آورد :

$$c= \frac{d}{t'-nT}$$

که درآن T دوره تناوب یاپریودگردش قمربه دورمشتری ، 't کـّل زمـان پدیداروناپدید شدن های قمر، d طول قطرمـدارزمین ، n شـمارپدیدارو ناپدیدشدن های قمروالبتّه c نیزسرعت نوراست .





اولاف رئومر

این آزمایش ومحاسبه در۱۶۶۷ میلادی توسط رئومردانمارکی انجام شد ومقدارسرعت برابر ۲۱۴۰۰۰ کیلومتردرثانیه بدست آمد . هویگنس هلندی، نیوتون وبرادلی انگلیسی ولایبنیتزآلمانی آنراتأئید کردند ولی فرانسوی ها برآن صحّه نگذاشتند .

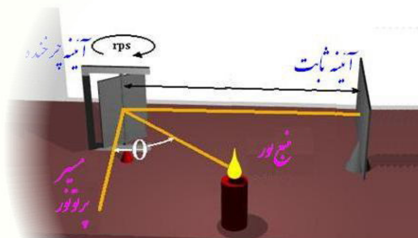
دراواپسین دهه هایِ سدهٔ هفدهم باتلاش های سازنده ازسوی چند دانشمند ، درطی کمترازسی سال ، دانش نوریا اُپتیک گام های بلندی در جهت کسب اعتباروهویّتِ مستقل ازدیگرعلوم بویژه اخترشناسی برداشت . دراین میان مهمترین شان عبارت بودند از (۱) فرانچسکو گریمالدی[1] که در ۱۶۶۵ مجموعه خودرادرخصوص تداخل نور و رابرت هوک[2] کتابش

۱- Francesco Grimaldi ۲- Robert Hooke

درزمینهٔ نوارباریک رنگ ها یاهمان تفرّق نور را منتشرنمودند ، (۲) در ۱۶۶۹ ، اِراسموس بارتولین[1] گزارش هائی ازمشاهدات خودرادربارهٔ تداخل مضاعف درکریستال اسپات ایسلند ، منتشرکرد ، (۳) در۱۶۷۲ ایساک نیوتن ، خاطرات خوددرمورد آزمایش هایش واثبات ماهیّت عینی رنگ هارا منتشرنمود ، (۴) در۱۶۷۶ اولاف رئومر اثبات نمودکه سرعت نور لایتناهی نیست ومقدارمحدود ومعینی دارد ، (۵) کریستین هویگنس آزمایش هائی روی قطبی شدن نورانجام داد .

درآغازسدهٔ نوزدهم ، دوباره کوشش های چشمگیری درقلمرو نور ونیز اندازه گیری سرعت آن تحقّق یافت . چارلزواتسون انگلیسی که بیشتر آوازه اش برآمده از ابداع روش ووسیلهٔ اندازه گیری مقاومت الکتریکی است که بانام « پلِ واتسون » همهٔ مادردروس فیزیک دبیرستانی باآن آشنائی داریم ، بااستفاده ازآئینهٔ متحرک که حرکت چرخشی داشت اقدام به اندازه گیری سرعت نورنمود . درواقع ، وی باحداکثر دقّت ممکن درآن روزگار شمارِ بازتابش های متوالی رادرنظرگرفته و با استفاده ازآن فاصلهٔ پیموده شده توسط نور دراین فرآیند رابدست آورده بود که برپایه زمان اندازه گیری شده ازتقسم فاصله به زمان سرعت نوررا بدست آورد . البتّه اعدادوارقام ثبت شده توسط واتسون دراین آزمایش چندان دقیق نبود .


سرچارلزواتسون



فیزیکدان فرانسوی دومنیک فرانسوا ژان آراگو[1](۱۸۵۳-۱۷۸۴م) ، بر تلاش های واتسون ارج گزارد وروش استفاده ازآئینه دورانی توسط وی را بهترین روش برای محاسبهٔ سرعت نوردرمحیط های مختلف قلمداد کرد . آراگو باتکمیل دستگاه کاربردی توسط واتسون ، سرعت نوررا معادل ۰۰۰، ۸۰ لیو(هرلیوبرابربا ۳/۷۵ کیلومتر)درثانیه بدست آورد که برحسب کیلومتربرثانیه درست ۰۰۰، ۳۰۰ می شود .



دومنیک فرانسوا ژان آراگو

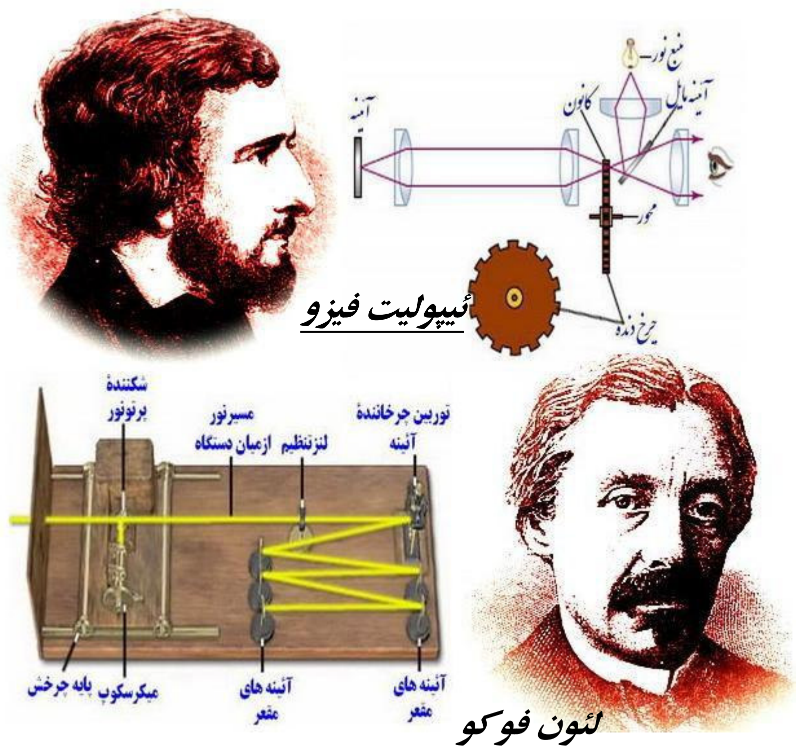
دست آوردهای آراگو زمینه سازپژوهش های دقیق تری ازسوی دو هموطن اش ، یعنی لئون فوکو[2](۱۸۶۸-۱۸۱۹م) وئیپولیت فیزو[3](۱۸۹۶-۱۸۱۹م) گردید .

فیزوکه تنها ۴ روزازفوکوکوچکتربود ، به روشی شبیه آراگو ولی کمی کامل تر ، سرعت نوررامحاسبه نمود . وی برای پیشگیری ازبعضی خطاها دردستگاه کاربردی خود ازلنزومنشورنیزاستفاده کرد . وی بااندازه گیری

Hippolite Fizeau-۳ Léon Foucault-۲ Dominique-François-Jean-Arago-۱

فرکانس دورانی آئینه ، فاصلۀ طی شده توسط نوررایافته وزمان رانیزدقیق محاسبه نمودکه سرانجام به مقدار ۰۰۰، ۳۱۴ کیلومتربرثانیه بـرای سـرعت نوردست یافت .

فوکونیزباهمین روش وبااصلاحاتی به مقداردقیق تری برای سرعت نـور نسبت به مقداربدست آمده توسط فیزو ، رسید . نتیجۀ نهائی پژوهش های لئون فوکو عبارت بود از : ۵۰۰ ±۲۹۸۰۰۰ کیلومتربرثانیه ....



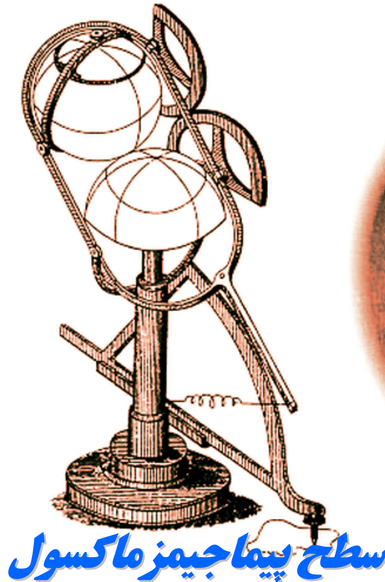
با شناخت پدیدهٔ الکترومغناطیس توسط جیمزماکسوِل[1] اسکاتلندی نه تنها موضوع نوربلکه اساساً فیزیک ، واردمرحلهٔ جدیدی شد . وی درسال ۱۸۶۴ نظریه اش راباعنوان « نظریه ای دینامیک ازمیدان الکترومغناطیس » منتشرنمود . درواقع دیدگاههای ماکسول سبب شد که سرعت های دیگری که درحدّواندازه های نورهستند نیز مطرح شوند ازآن جمله سرعت امواج الکترومغناطیس ، سرعت الکترون وذرّات بنیادی و... ماکسول دربخش ششم اثرخود باعنوان « نظریه الکترومغناطیسی نور » معادلات بنیادی راارائه نمود که یکی هم معادلهٔ امواج الکترومغناطیس و نمایش وبیان سرعت آن بود .

ماکسول درآزمایش های خود سرعت انتشارامواج الکترومغناطیس را برابر ۰۰۰، ۷۴۰، ۳۱۴ متربرثانیه بدست آورد . این عدد ، برپایه مبانی فیزیک نور ، مغناطیس والکتریسیته ، معادل سرعت نوردرخلاء است . عددی راکه فیزو باروش خودبدست آورده بود درواقع سرعت نوردر هوا بود به مقدار ۰۰۰، ۸۵۸، ۳۱۴ متربرثانیه که فوکوتوانست باروش کامل ترِ خود این مقداررا معادل ۰۰۰، ۰۰۰، ۲۹۸ متربرثانیه محاسبه نماید . در نهایت ، مقدارنسبتاً دقیق ترسرعت نوردرهوا با منظورکردن بعضی فاکتورهای دیگرمانند شکست ناقص نوردرمحیط اطراف زمین ، معادلِ ۰۰۰، ۰۰۰، ۳۰۸ متربرثانیه بدست آمد .

ازاین زمان به بعد همانگونه که برای بررسی وپژوهش در زمینه های مختلف دانشِ مکانیک دوگونه مکانیک ، یکی مکانیک نیوتونی ویکی هم مکانیک کوانتومی ، پیش بینی شد ، برای نورنیز دوگونه فیزیک یکی فیزیک نورهند سی و دیگری فیزیک نورموجی یا به عبارت دیگر

۱- James Maxwell

مکانیک موجی ، ظهور کرد .

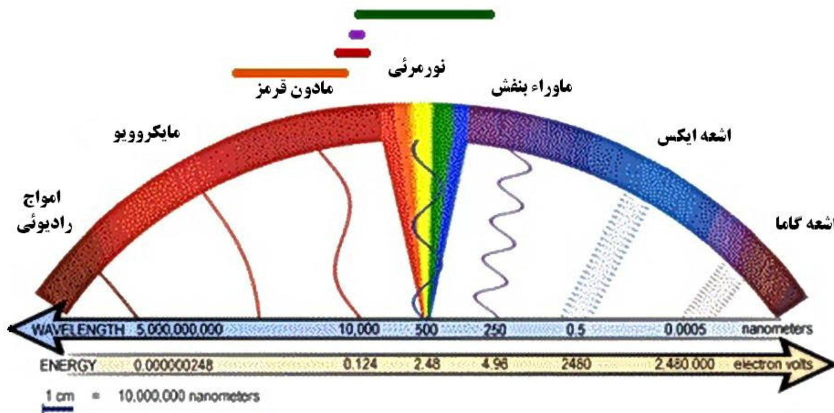




از پی پژوهش ها ودست آوردهای ماکسول ، ارتباط میان موج ونور روز به روز مقبولیت بیشتری یافت به گونه ای که طـول مـوج وفرکـانس نیـز وارد قلمرونورورنگ ها شد . ازبرجسته ترین فیزیکدانان که درایـن زمینـه بسیاراثرگذاربشمارمی رود ، هاینریش رودلف هرتزآلمانی است .

بهرحال ، مسـألهٔ سـرعت نوردرآغازسـدهٔ بیسـت ویکـم نیـز مرمـوز و اسرارآمیز باقی مانده است به گونـه ای کـه همچنـان بـرای دانشـمندان سرشاراز انگیزه های فراوان برای پژوهش وکاوش بشمارمی رود . سه قرن داستان ثابتِ بنیادی c یاهمان سرعت نور ، وابستگی اجتناب ناپـذیرخودرا با مسائل اساسی درفیزیک به اثبات رسانده و با تکامل علم این وابستگی

عمیق تروعمیق ترمی گردد .



طول موج پرتوهای مختلف

واما...

چگونگی صفرشدن سرعت نور

همه بخوبی می دانیم که هرگونه نوآوری درجهان دانش برآمده از پیش زمینه هائی است که نوآوران پیشین ازخودبه یادگارگذارده اند . حتّی تمام دیدگاهها وراه وروش های نادرستی که گذشتگان درقلمروی ازدانش ابرازکرده وبعدها نادرستی آنها به اثبات نیزرسیده ، همواره دست مایه پژوهش نسل های بعدی برای نائل آمدن به پیروزی های ارزشمند در جهان دانش ، قرارگرفته است .

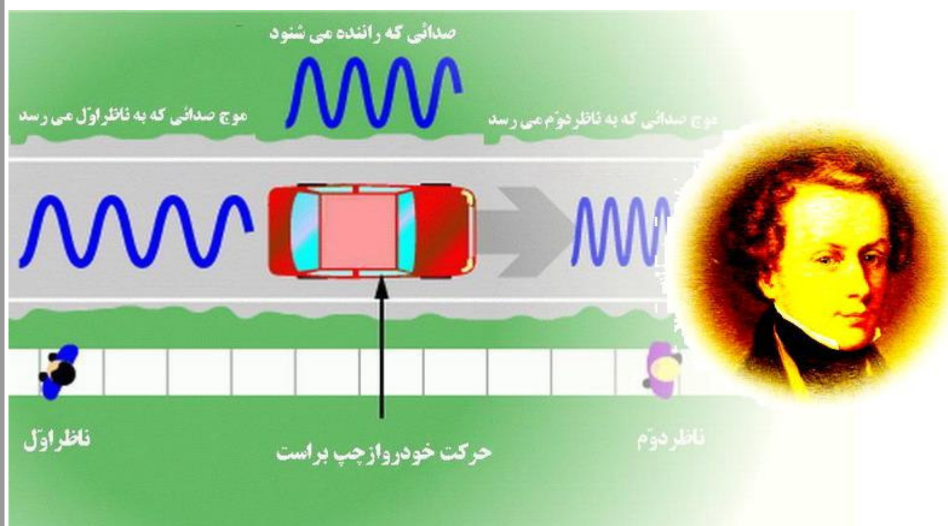
نمونه هائی ازاین دست رامی توان درآثار بزرگان ازنخستین سالهای پیدایشِ خط ونگارش درمیان انسانها تانخستین دههٔ سدهٔ بیست ویکم که درآن به سرمی بریم ، پیداکرد . بطورمثال ، میراث علمی بجای مانده از آکادمی افلاطون ، لوکئوم ارسطو ودانشگاه آتن که باهمّت بزرگان

ودانشمندان مشرق زمین ومسلمانان درعصرطلائی دانش وپژوهش در میان آنها ، جمع آوری ومورد تحقیق ومطالعه قرارگرفت ، ازبسیاری جهات با واقعیّت های علمی که درسده های نخستین اقتدارحکومت مسلمانان محقّق گردید ، درتناقض بود . منظوراینکه درمیان نگاشته های بزرگان در یونان باستان نادرستی های فراوانی وجودداشته که امروزه دیگر ارزش علمی ندارند . ازجمله ، همانگونه که پیشتراشاره شد ، دانشمندانی مانند ارسطو ، بقراط وجالینوس درمورد بینائی وتوجیه واستدلال درخصوص دیدن توسط چشم ، دیدگاهی کاملاً غیرعلمی وغیرواقعی داشتند وآن اینکه ، دلیل دیدن توسط چشم را ، خارج شدن نورازچشم انسان وتابیدن آن براجسام ، می دانستند که درسدۀ چهارم هجری معادل با سدۀ نهم میلادی توسط دانشمند مشهوراهل بصره یعنی حسن بن هیثم که به حق جهان علم وی را پدرعلوم تجربی لقب داده است ، اصلاح ونظریه ای که موردقبول دانشمندان سدۀ بیست ویکم نیزهست ، توسط وی به این صورت که از تابیدن نوربراجسام وبازتابشِ آن به سوی چشم ، آن اجسام دیده می شوند ، گردید . نه تنهادرفیزیک وزیرگروههای آن بلکه درتمام شاخه های دانش وزیرگروههای آنها نیز اینگونه دیدگاههای نادرست وجودداشته وهمچنان وجودخواهدداشت تاپژوهشگری ازراه برسد ونادرستی آنرا اثبات ودیدگاه درست راارائه نماید . درقلمرو دانش نوریااُپتیک ازاینگونه نمونه ها فراوان است .

وشاید این ادّعا که سرعت نورمی تواند صفربشود نیزازآن جمله باشد و درآینده کسی بااستدلال ومنطقی قوی تر ، نادرستی آنرا اثبات کند . ولی بهرحال برپایه آنچه که تابه امروز مورد پذیرش اهل فن بوده ، این ادّعا درست ازآب درمی آید .

برای اثبات اینکه درشرایطی ویژه سرعت نورمی تواند صفرشود ، از چند اصل ونظریه درفیزیک استفاده می کنیم شامل اثرداپلر ، نسبیّت عمومی ونسبیت خصوصی ، نظریه اتر ، تبدیل گالیله و...

اثرداپلر رامی توان دررخدادهای عادّی زندگی به روشنی مشاهده نمود اگرچه این پدیده درجهان طول موج ها وفرکانس های درون اتمی نیزحضوردارد . نخستسن کسی که به وجودچنین پدیده ای پی بُرد کریستین داپلراتریشی بود(۱۸۵۳- ۱۸۰۳) . این دانشمند ، اثرداپلررا اوّل باردرمورد صدا شناسائی واثبات نمود ولی بعدها برای نورنیزتعمیم داده شد .



هنگامیکه منبع صوت بسوی ناظری که درحال سکون است یاناظری بسوی منبع صوت ساکن حرکت کند تغییراتی درصوت یادرواقع امواج صوتی برای ناظرمزبور بوجود می آید که این اتفّاق را اثرداپلر می نامند .

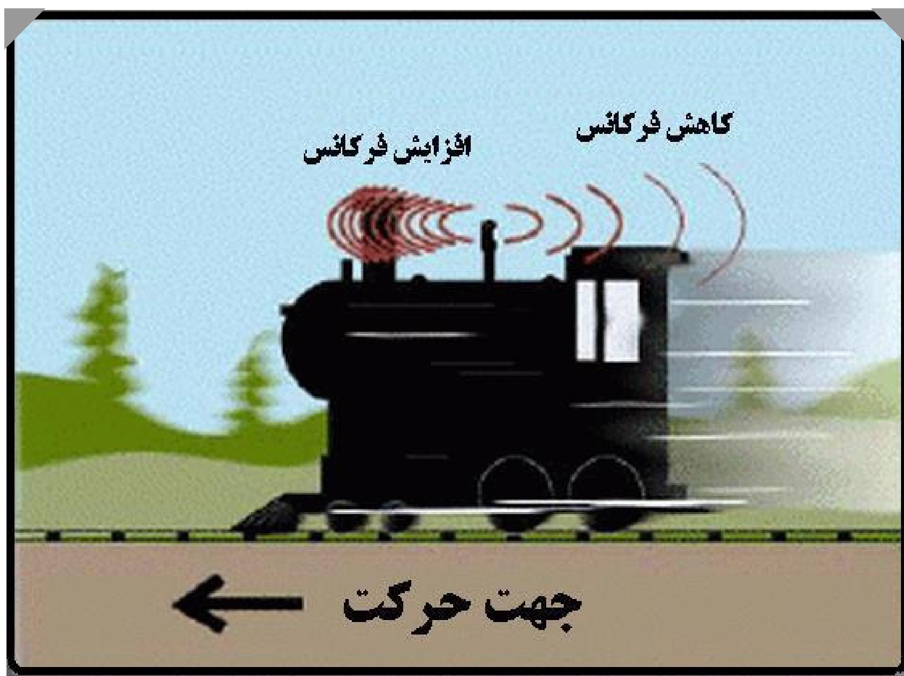
امواج وفرکانس ها . . .

اتفّاقات درون اتمی مبنای هویّت کیفی و کمّی انـرژی درقلمروفیزیـک بشمارمی رود . هم صوت وهم نوربصورت موجی حرکت کـرده وجابجـا می شوند . اثرداپلر ، هنگامی بوجود می آید که برامواج وفرکـانس هـای آنهافشاروارد شود . درشکل صفحهٔ قبل خودعامل پدیدآورندهٔ موج یعنـی خودرو ، امواج (صوتی) رابه جلومیراند . این پدیده درخصوص پرتوهای نورنیز بوجودمی آید ولی پی بردن به آن درقلمرونورتاحدّی مشـکل تـر است .

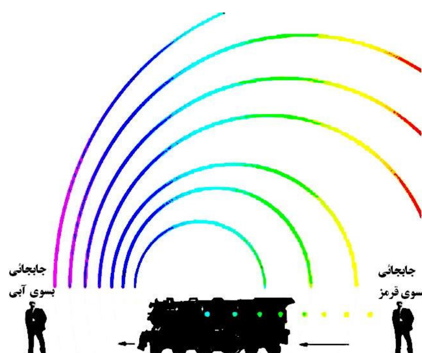
مقایسه داپلر در صوت با داپلر در نور

درهنگامیکه اثرداپلردرخصوص صـدا رُخ مـی دهـد ، تغییردرصـوت را میتوان با کم و زیادشدن آن احساس کرد . صدای بوق قطاری که بـه مـا نزدیک می شود ، همانطورکه فاصله اش ازماکمترمی شود ، بلندتروزمانی که فاصله اش ازمابیشترمی شود ، کمترمی گـردد . درحالتیکـه قطاربـه مـا نزدیک می شود ، امواج صوتیِ بوق بـه توسـط خودقطـار بـه جلورانـده میشود . این تغییرباعث افزایش سرعت حرکـت نوسـانی یاتنـاوبی امـواج خواهد شد . به عبارتی فرکانس امواج صوتی بیشترمی شود که این خـود عاملی برای افزایش طنین یاقدرت صدا می گردد .

درشکل صفحهٔ بعدتصویری ازقطاری که درحال حرکت بوق مـی زنـد همراه باتغییری که در امواج صوتی پیش می آید ، آمده است .



پدیده یااثرداپلردرنورباعـث تغییراتـی دررنـگ نوریـادرواقع فرکـانس امواج نوری ، می گردد بگونه ای کـه هررنگـی درطیـف نوردرفرکـانس متفاوتی ظاهرمی شود . به هراندازه که فرکانس موج نوری افزایش پیـدا کند ، مجموعۀ طیف نورازسمت مادون قرمز به سوی ماوراء بنفش جابجـا می شود زیرا افزایش فرکانس های امواج نوری درجهت قرمز بطرف آبی وبنفش است .

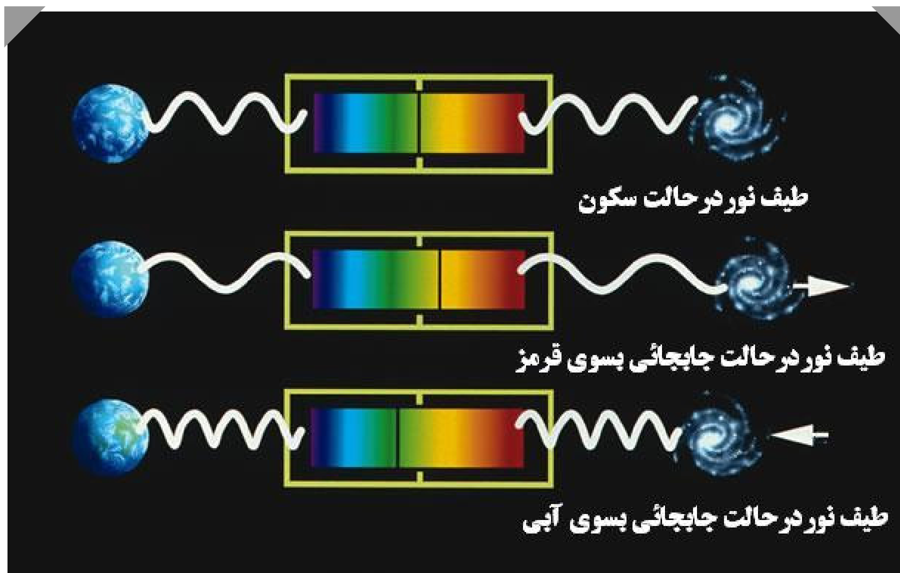


آنچه مسلّم است برای بررسی اثرداپلر ، چه درصوت وچه درنور ، بایستی ناظرِثابت یامنبع صداونورثابتی وجودداشته باشد تا نقش محورهای مختصات رابازی کند درغیراین صورت این کارغیرممکن است . درواقع تغییرات حاصل ازحرکت منبع صدا یامنبع نوردربرابرناظرثابت یا تغییرات حاصل ازحرکت ناظردربرابرمنبع نور ثابت ، باعث تغییرات در فرکانس رنگ های طیف می گردد که تنهابرای ناظرمزبورقابل احساس است . در تصویرزیراثرداپلروتغییرات درامواج صوتی وتغییرات درامواج نوریِ حاصل ازآن باهم مقایسه شده است .



همانگونه که اشاره شد ، اثرداپلردرصوت رابا کم وزیاد شدن طنین یاقدرت صوت ، می توان احساس کردوشنید . ولی تغییرات درفرکانس های طیف نوررا نمی توان براحتی مشاهده واحساس نمود . به عبارت دیگربرای اینکه تغییرات حاصل ازاثرداپلردرنورقابل دیدن باشد ، سرعت منبع نورنسبت به ناظریا بعکس ، باید بسیارزیادترازسرعت های متداول درزندگی روزمرهٔ ما ونزدیک به سرعت نوربا شد .

درهرصورت تصاویری که طیف نگاریا اسپکترسکوپ دراین مورد به ما می دهد می تواند تااندازه ای ، شّک وتردیدها راکاهش دهد .



درشکل فوق درحالتیکه منبع نوربه ناظرنزدیک مـی شـود طیـف نوربـه طرف آبی ودرحالتیکه منبع نورازناظردورمی شود طیف نوربه طرف قرمـز جابجا می شود .

نظریه نسبیّت

نظریه نسبیّت انشتین هم درمورداجسام بسیاریزرگ(اجرام آسمانی) وهم درمورداجسام بسیارکوچک(ابعاداتمی) ، واتفاق هائی که درامواج وذرّات اتمی بوقوع می پیوندد ، صادق است . شناخت پیوستگی فضا وزمان نقش مهّمی درتوجیه وتشریحِ چگونگی دریافت ناظرازاجسام درحال حرکـت ، بازی می کند . بستگیِ صدا ، نور وناظر درمرجع هـای مقایسـه مختلـف از طریق امواج وفرکانس های آنها محقّق می شود . حال اگرخودِناظرمرجعِ

مقایسه باشد ، برداشت ودریافت وی روی شکلِ اتفاق تأثیرمی گذارد . بـه دلیل اینکه امواج نورنسبت به امواج صوت ، به میـزان قابـل ملاحظـه ای سریع ترجابجامی شود ، اثرداپلردرموردِ نور برای ناظرکمترقابل دریافـت و درک است ؛ امواج نـوری سـریع ترازآنکـه چشـم بتوانـد آنـرا ببینـد ، حرکت کرده وجابجا می شود .

اثرداپلر نسبیّتی

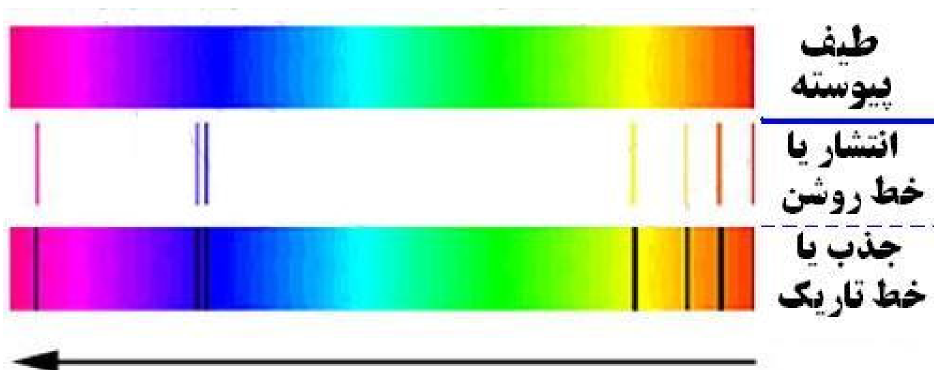
آلبـرت اینشـتین ، بـه دلیـل ویژگـی هـای منحصـربفردِ نـور ، نظریـه ای خصوصی ازنسبیّت رابرای توجیه چگـونگی تـأثیرِ پیوسـتگی فضـا/زمـان ، برپایه برداشت ودریافت ناظر معیّنی ، هنگامیکه تغییراتی درامـواج نـوری بوقوع می پیوندد ، پیش بینی نموده است .

دراثبات اینکه درشرایطی خاّص سرعت نور مـی توانـد صفرشـود ، اثـر داپلردرنورنقش اساسی دارد .

رنگ های مختلف طیف دارای فرکانس های مختلفی هستند ؛ بخشی از نورکه دارای فرکانس بالاترودرنتیجه دارای نوسانات سـریع تـری اسـت ، مربوط می شود به انتهای بنفش یاماوراءبنفش ، وبخشی که دارای فرکانس پائین ترودرنتیجه نوسانات کُندتری است ، مربوط به انتهای قرمز یا مادون قرمزِطیف است . براین پایه ، همانطورکه پیشتراشاره شد، هنگامیکـه منبـع نوری به ناظری نزدیک میشود ، یا به عکس ناظری به منبع نـوری نزدیـک می شود ، رنگ نورتاحّدی به سمت آبی جابجا می شود ؛ هنگامیکـه منبـع نوری ازناظر ، یاناظری از منبع نوری دورمی شود ، رنگ نوراندکـی بـه

سمت قرمزجابجا می گردد . این پدیده عملاً مشاهده وثبت شده است .

نوری که ازگازهای پرتوافکن[1] ، همانندنورلامپ های فلوروسنت ، به سوی ناظری انتشار می یابد ، دربردارندۀ تمام نورها بافرکانس های مختلف که بطورپیوسته درطیف رنگین کمان ، مشاهده می شود ، نیست بلکه به دلیل وقوع پدیده های تداخل وتفرّق ، فرکانس هائی را به صورت کاملاً جداازهم که حدفاصل یامرزمشخّصی بین شان وجوددارد ، ایجادمی کنند . پدیده های تداخل وتفرّق نور رانمی توان با اصول و قوانین نورهندسی بصورتی که درتوپ وراکت ملاحظه شد ، توجیه نمود. فیزیکدانان نخستین دهه های سدۀ نوزدهم میلادی ، برای بررسی و تشریح این دوپدیده درنور ، فیزیکِ نورجدیدی راتدارک دیدند که در آن ازنورباماهیّت موجی ودارای نوسان با فرکانس های معیّن ، یاد میشود. خطوط طیف برآمده ازهرنور لومینسانت فرکانس هائی رادرخوددارند که بیان گر عناصرشیمیائی است که ازگرم وملتهب شدن آنها ، نور حاصل شده است . فرکانس این خطوط طیف مشخّصۀ عناصرشیمیائی است که در



روی شعله ازخودنشان می دهند(آنالیزطیفی بونسون وکیرشهف ۱۸۵۹م) . پرتوهائی که ازستارگان به زمین می رسند دارای چنین خطوط طیفی هستند که منطبق باعناصرشناخته شده درزمین است . براین پایه می توان نتیجه گرفت که موادموجوددرعمق فضای کیهانی ترکیبی از سازنده ها و تشکیل دهنده های اولیه کیهان هستند . به دلیل اینکه طیف پرتوهای نور ستارگان دوردست نسبت به آنچه که درزمین ازطیف عناصرحاصل می شد کمی جابجائی ازخودنشان می داد ، پژوهشگران طیف سنجی براین باور بودند که درفضای کیهانی عناصری وجوددارد که درروی زمین یافت نمی شود یااینکه هنوزکشف نشده اند . امّا با افزایش دانش بشردر خصوص اثرداپلردرنورودست یابی به بعضی آگاهی های دیگر ، معلوم شد که این جابجائی ناشی ازحرکت ستارگان مزبوربطرف زمین یا دورشدن آنها اززمین است که به دلیل حرکت زمین به دورخورشید بوجودمی آید . درواقع درنیمی ازسال که حرکت این اجرام آسمانی در جهت نزدیک شدن به زمین هستند ، جابجائی درطیف آنهابه طرف فرکانس های بالاتر یعنی ماوراءبنفش است ودرنیم دیگرسال که حرکت آنها درجهت دورشدن اززمین است ، به طرف فرکانس های پائین تر یعنی مادون قرمزاست . این تأثیرشگفت انگیزحرکت زمین روی طیف ستارگان بشکل دقیق وروشن قابل سنجش نیست چه بهرحال دربعضی موارد گونه ای تطابق وروی هم قرارگرفتن آنها نیزاتفّاق می افتد که باعث بوجودآمدن خطا دراندازه گیری می شوند .

محیط اتربه عنوان محمل نور

پس ازاینکه اُپتیک هندسی نتوانست پدیده هائی مانند تداخل و تفرّق را پاسخگو باشد ، فیزیکدانان برای بررسی وتوجیه ویژگی های موجی نور از توجیهات الکترومغناطیسی استفاده نمودند . ازجمله کوشش های فراوانی به عمل آمد تاهمانند امواجِ صوتی که برای جابجائی نیازبه محمل دارند ودرخلاء قابل انتقال نیستند ، محملی برای نوربیابندکه باآنچه که تاآن زمان درخصوص پدیده های نوری عنوان شده بود ، سازگاری داشته باشد . سرانجام « اتر »[1] به عنوان محیطی که نوردرآن انتشارمی یابد ، و پیشترهانیزبعضی فیزیکدانان به آن اشاراتی داشتند ، انتخاب شد . ماهیّت این محیط که نه مایع است ونه جامد ، درفیزیک کلاسیک توجیه پذیر نیست بلکه بااستفاده ازمکانیک کوانتومی آنراتعریف وتشریح می کنند . بهرحال این فرضیه دربسیاری ازموارد ، کمک شایانی به توجیه و تعیین ماهیّت پدیده های موجی نورمی نماید .

بیش ازهرچیز بایدمشخص شود درهنگامیکه ناظرومنبع نوردریک جهت حرکت می کنند ، چه اتفاقی می افتد . آیا بافرض اتربعنوان محمل نور دیگراثرداپلردرستی خودراازدست می دهد؟ .. آیا اثرداپلرتنها درخصوص حرکت نسبی اجسام معتبراست؟.. یا ، آیا پدیدۀ داپلرمی تواند دراثبات بی اثربودن حرکت اجسام درمحیط اتر مارایاری دهد؟.. اساساً ، بافرض اتر ، تکلیف ما بااصل نسبیّت چه خواهدبود؟.. باوجودتمام شک وتردیدها

۱- Etherیا Aether

ظاهراً همه چیزروبراه می شود تابتوان ثابت نمودکه بهرصورت یک جائی سرعت نورصفرمی شود .

نظریه اتردرپاسخ به پرسش های فوق اینگونه است که اثرداپلـرفقط بـه حرکت نسبی منبع نوروناظربستگی ندارد ، بلکه تاحدّی به حرکـت هـردو اینها نسبت به اترنیزمربوط است ولذادرمجموع اینکـه اثرداپلرآنقـدرناچیز است که درحالت جابجائی منبع نوریا جابجائی وحرکت ناظر مـی تـوان آنرا صفرفرض نمود . از بی تأثیرشدن اثرداپلر درخصوص دو نقطه مزبـور می توان به این استنتاج منطقی رسـید کـه تعـداد مـوج گذرنـده ازآنهـا درهرشرایطی تغییر نکرده وبایکدیگربرابراست .

حال ناظری رادریک دستگاه مختصات که نسبت بـه اتردرحـال سـکون است ، درنظرمی گیریم . این ناظر دستهٔ معیّنی ازامواج نورراکـه از نقطـهٔ x_0 درزمان t_0 می رسد ودرزمان t_1 نقطهٔ x_1 راترک می کند ، دریافت مـی -کند که آنرا n می نـامیم . باتوجـه بـه ماهیّـت مـوجی نـور فرکـانس ν وسرعت c را برای آن درنظرمی گیریم . برپایه تعریفـی کـه ازفرکـانس و تعداد موج داریم ، می توانیم رابطهٔ زیررابرای بدست آوردن تعداد موج درزمان مشخّص بنویسیم :

$$n=\nu t \qquad (۱)$$

مجموع زمانی که موج دراین موردخاص فاصلهٔ بین x_0 و x_1 رامی پیماید، عبارتست ازتفاضل دوزمـان یکـی t_1-t_0 یعنـی زمـان درمبـداء حرکـت و دیگری حاصل تقسیم فاصلهٔ پیموده شده برسـرعت نـوریعنی $\frac{x_1-x_0}{c}$ کـه براساس روابط فوق خواهیم داشت :

$$n=\nu\,[(t\quad -t_0) - \frac{x_1-x_0}{c}] \qquad (۲)$$

حال برای ناظردیگرکه باسرعت v درجهت x درحرکت است ، معادلهٔ فوق رابرای محاسبهٔ تعدادموج می نویسیم :

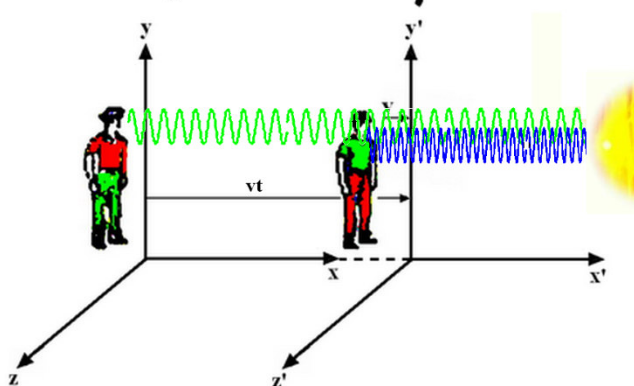
$$n' = \nu' [(t-t_0) - \frac{x'_1 - x'_0}{c}] \qquad (۳)$$

همانگونه که پیشتربه اثبات رسید ، تعداداموا‌ج درهردوحالت برابرند ، لذا بابرابرقراردادن (۲) و(۳) خواهیم داشت :

$$\nu [(t - t_0) - \frac{x_1 - x_0}{c}] = \nu' [(t-t_0) - \frac{x'_1 - x'_0}{c'}] \qquad (۴)$$

امّا برپایه تبدیل گالیله درمورد مختصاتی به مختصاتی دیگر ، برای انتقال از x_0 و x_1 به x'_0 و x'_1 وبافرض اینکه درمبداء x و x' ونیززمان صفراست ، خواهیم داشت :

$$x'_1 = x_1 - vt \qquad و \qquad x'_0 = x_0 - vt_0 \qquad (۵)$$



باقراردادن مقادیرمعادلات (۵) در(۴) وبا توجه به اینکه زمان درمبداء صفراست $(t-t_0=0)$خواهیم داشت :

$$\mathbf{v}\left[\frac{x_1-x_0}{c}\right]=\mathbf{v'}\left[\frac{x'_1-x'_0}{c'}\right] \qquad (۶)$$

وسرانجام :

$$\frac{\nu}{c}=\frac{\nu'}{c'} \qquad (۷)$$

ثانیاً ، اگرمشاهده درنقطه ای ثابت ازفضادرسیستم مختصات متحرّک اتفّاق بیفتد ، بااستفاده ازتبدیل گالیله خواهیم داشت :

$$x_1-x_0=x'_1-x'_0+v(t_1-t_0) \qquad (۸)$$

که درآن $x'_1-x'_0$ برابرصفراست ولذا خواهیم داشت :

$$x_1-x_0=v(t_1-t_0) \qquad (۹)$$

بامنظورکردن مقادیرفوق درمعادلهٔ (۴) وصفرقراردادن$x'_1-x'_0$ درآن ، وبااستفاده ازمعادلهٔ (۷) خواهیم داشت :

$$c'=c-v$$

که ازآن برمی آید که اگرسرعت حرکت ناظربه سوی منبع نـور معـادل سرعت نورگردد ، سرعت ظاهری نور صفر خواهد شد .

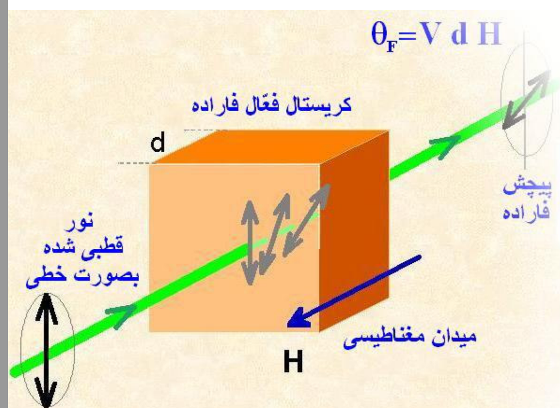
وپایان سخن...

آنچه مسلّم است ، پس ازتثبیت وپذیرش ماهیّت الکترومغناطیسـی بـرای امواج نور که توسط جیمزکلارک ماکسولِ اسکاتلندی بـه انجـام رسـید ، دامنهٔ پژوهش هایِ دانشمندان دربارهٔ نوربه سرعت گسترش یافت و سـراز بعضی دانش های دیگردرآورد . ولی تـاپیش ازآن پدیـده هـای نـوری ، الکتریکی ومغناطیسی نسبت به یکدیگر مرزهـای کـاملاً مشخّصـی داشـته و کسی تصورنمی کرد این سه قلمرورابتوان درمحدودهٔ مـرتبط گنجانـده و مورد تحقیق ومطالعه قرارداد .

تامیانه های سدهٔ نوزدهم میلادی ، علی رغم دسـت آوردهـای تجربـی فراوان درزمینـهٔ مغنـاطیس ، الکتریسـیته ونـور ، همچنـان مبـانی وتوجیـه تئوریک آن شکل نگرفته بود . دراواسط سدهٔ هجدهم بودکه جرّقه هـائی ازباورِ وجودارتباط میان پدیـده هـای نـوری والکترومغناطیسـی درافکـار دست اندرکاران ،پدیدارشد .جالب اینجاست که بیشتراین جرقه ها دراثر

مشاهده وتجسّس برروی جرقه های پدیدارشده درتخلیه الکتریکـی بـود .
پیش ازآن بنیامین فرانکلن[1] آمریکائی در۱۷۴۷ به گونه ای منشاء وماهیّـت الکتریکی برای نوررایافته بـود . درایـن مـورد دانشـمند روسـی میخائیـل لومونوسُف[2] آزمایش هائی دراثبـات وجودپیونـدمیان نوروالکتریسـیته بـه انجام رساند . ازدیگردانشمندانی که بررابطۀ احتمالی میان نوروالکتریسـیته تأکیدداشته است ، می توان به پزشک وفیزیکدان انگلیسی توماس یانـگ[3] نیزاشاره کرد .

امّا درواقع کشف ارزشمندفیزیکدان دیگرانگلیسی میشل فاراده[4] بود کـه یگانگی ووابستگی نوروالکتریسیته رابه میزان قابـل ملاحظـه ای بـه اثبـات رساند . وی درسال ۱۸۴۶ بااثری مغناطیسی نـوری مواجـه شـد . فـاراده ، هنگامیکه دسته ای ازپرتوهای نورراازمیان مادّه ای درجهت یـک میـدانِ مغناطیسی ، عبورداد ، مشاهده کردکه امواج نوربه ماننـد امـواجی کـه از ارتعاش یک نخ الاستیک حاصل می شود ، ازخودارتعاش نشان می دادند .





Michael Faraday-۴Thomas Young-۳Mikhail Lomonosov-۲Benjamin Franklin -۱

این ادّعا فراترازاندوخته های علمی عصروزمان فاراده بودولـذا تـاپیش ازارائه نظریه میدانِ الکترومغناطیسی توسط ماکسول ، به رسـمیّت شـناخته نمی شد . البتّه پیشتر و در ۱۸۱۶ آراگو و فرِنِل آزمایش های ویـژه ای بـه انجام رسانده بودند که نشان می داد ارتعاش های امواج نوری درجهتـی عمودبر جهت انتشار نور اتّفاق می افتد . آزمایش فاراده در۱۸۴۶ بسـیاری ازشّک وتردیدها رادر ارتباط با الکترومغناطیسی بودن امواج نور ، برطرف نمود . درحقیقت ازیک سو پیونـدمیان نوروالکتریسـیته وازسـوئی دیگـر ، پیوند میان الکتریسیته ومغناطیس بیش ازپیش به اثبات می رسید .

بهرحال دست آوردهای فیزیکـدانان درالکتریسـیته ومغنـاطیس والبتّـه ، الکترومغناطیس زمینه سازگشوده شدن رمزورازهای نورِوامواج نوری نیـز می گردید . ازجملهٔ این دانشمندان می توان به کلمب[۱] ، آمپر[۲] واورستد[۳] اشاره نمود .

درزمان های بسیاردور که انسان نخستین گام هـارا دربرپـاکردن دانـش ازتمام گونه هایش ، برمی داشت ، شمارِ شاخه های گونـاگون دانـش بـه اندازهٔ امروز نبود . درواقع روزگاری تعـدادعلوم ازانگشـتان یـک دسـت فراتر نبود ولی سال به سال وسده به سده برشمارِآنها افـزوده شـد تـا کـه امروزه شاید به بیش از ۲۰۰ گونه رسیده است . درگذرِ زمان شـاخه هـای متعـددی ازعلـوم ازتقسـیم شـدن علـومِ متقـدّم ترسـربرآوردند . ازآن روزگاران تابه امروز ، اهل دانش درگروه بندی دانش های مختلف دچار مشکل بوده وهستند . برپایه سابقهٔ تاریخی مربوطه ، زاده شدنِ علوم جدید از علوم کهن تر ، اتفّـاقی منطقـی بـه نظرمـی رسـد . امّـا درمـورد نـور ، مغناطیس و الکتـریسیته ، قضیه درست برعکس بوده بطوریـکه تا پیش از

Hans Christian Orsted-۳ Andre Marie Amper-۲Charles Augustin de Coulomb-۱

انقلاب علمی درمغرب زمین این سه قلمرو راکاملاً جداازهم درنظر می گرفتند . یعنی اهل علم باورشان نمی شد که اینچنین باشد . این واقعه بسی مشکلات برای پژوهشگران نسل های بعدی به همراه داشت از جمله دربرقراری سیستم واحد یگانه وموردپذیرش ازسوی تمام مراکز علمی وافراد منتسب به آنها ، که درحقیقت هنوزهم محقّق نشده است .

باشکسته شدن طلسم هائی که موجب توقّف دراعتلای علوم مختلف از جمله فیزیک ، شده بود ، به سرعت برجاذبه های جهان دانش افزوده شد وروزبه روز صدها وهزارها انسانِ شیفتهٔ دانش وپژوهش پای درقلمرو اسرارآمیزعلوم مختف گذاشته ومی گذارند . دراین میان لازم است به ویلهلم وِبِروکارل فردریش گوس ، دوفیزیکدان برجستهٔ آلمانی اشاره شود که اوّلی شاگرددوّمی بشمارمی رفته است . این دونفر ، بویژه وِبِر ، در ایجاد یگانگی وارتباط میان نوروالکترومغناطیس ، تلاش های گسترده ای را به خرج دادند .

دکترعبدالله زرافشان

اردیبهشت ۱۳۸۹ تهران

Email: arvinzar1327@gmail.com

منابع

1-H. Bondi, Relativity and Common Sense, London,1965

2-W. Panofsky, M. Phillips, Classical Electricity and Magnetism, new York, 1955

3- A. Einstein, The Meaning of Relativity, Princeton 1953

4- C. Moeller, The Theory of Relativity, Oxford, 1952

5- S. R. Filonovich, The Greatest Speed, Moscow, 1986

6- V. A. Ugarov, Special Theory of Relativity, Moscow, 1979

7- Moses Fayngold, Special Relativity and Motion Faster than Light, Weinheim, 2002

8- Benjamin Crowell, The Modern Revolution in Physics, 2010

9- Albert Einstein, Relativity, The Special and General Theory, 1920

10- Rafael Ferraro, Einstein's Space – Time, 2007

11- David Harding, Moira Johnston, The Facts On File Physics Handbook, Revised Edition, 2006